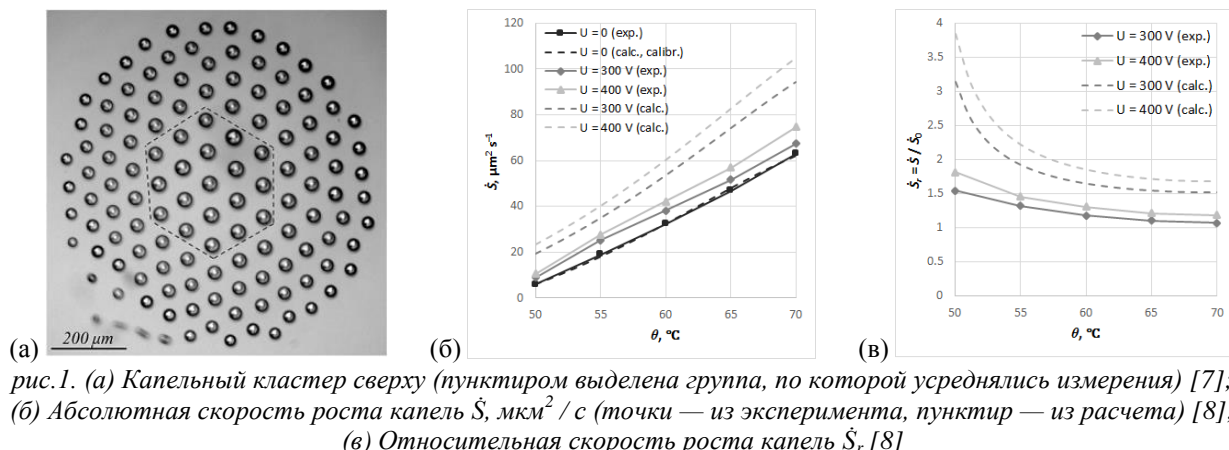


учтено в статье [7], где учитывалась только деформационная поляризация. Из-за отсутствия возможности напрямую измерить влажность воздуха в области капельного кластера расчёт начальной скорости при $E = 0$ калибруется по экспериментальным значениям. Подробнее детали расчёта приведены в работе [8].



Расчёт продемонстрировал качественное согласие с экспериментом: совпадает порядок и взаимное расположение кривых. С ростом температуры растёт абсолютная влажность воздуха вблизи кластера, поэтому повышается абсолютная скорость роста его капель (рис. 1б). Однако из-за повышения температуры усиливается хаотичность движения молекул водяного пара, приводящая к уменьшению ориентационной поляризации молекул. Как следствие, уменьшается вклад электро-индуцированной конденсации, который можно вычислить как $\dot{S}_r - 1$ из рис. 1в. На рассматриваемом интервале температур снижение температуры, напротив, повышает значимость электро-индуцированной конденсации в процессе роста капли. В связи с этим мы предполагаем, что электро-индуцированная конденсация играет существенную роль при более низких температурах, в частности, при тех, которые имеют место в облаках. Пролить свет на эту гипотезу в будущем поможет развитие технологии «холодного» капельного кластера, который позволяет генерировать левитирующие капли при температурах ниже 30°C [9], однако на данном этапе определённые технические ограничения пока не позволили применить её напрямую к задаче о конденсации в электрическом поле.

Исследование было выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук (МК-819.2020.2) и Госзадания Минобрнауки РФ (FEWZ-2020-0004).

Список публикаций:

- [1] Guerrini A., Murino G. // *Il Nuovo Cimento C*. 1990. V. 13. No. 3. P. 663.
- [2] Singh N., Singh D. // *Indian J. Radio & Space Phys.* 2004. V. 33. No. 1. P. 43.
- [3] Федорец А. А. // *Письма в ЖЭТФ*. 2004. Т. 79. №8. С. 457.
- [4] Fedorets A. A. et al. // *J. Phys. Chem. C*. 2019. V. 123. P. 23572.
- [5] Fedorets A. A. et al. // *Int. J. Heat Mass Transf.* 2019. V. 133. P. 712.
- [6] Fedorets A. A. et al. // *14th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mech. and Thermodyn. (HEFAT-2019)*, Wicklow, Ireland, 2019.
- [7] Gabyshev D. N. et al. // *J. Aerosol Sci.* 2019. V. 135. P. 103.
- [8] Gabyshev D. N. et al. // *Atmos. Res.* 2020 (на рецензировании).
- [9] Fedorets A. A. et al. // *Int. J. Heat Mass Transf.* 2017. V. 113. P. 1054.

Исследование термогидродинамических процессов при диагностике параметров трещины гидроразрыва нефтяного пласта

Давлетишин Филюс Фанизович

Шарафутдинов Рамиль Файзырович

Башкирский государственный университет

Шарафутдинов Рамиль Файзырович д.ф.-м.н.

Felix8047@mail.ru

На сегодняшний день в связи со снижением темпов добычи нефти, ростом осложненного фонда скважин ключевыми задачами нефтедобывающих предприятий являются повышение рентабельности и технико-экономической эффективности эксплуатации скважин. Решение этих задач может быть достигнуто путем своевременного и достоверного геофизического контроля разработки нефтегазовых месторождений.

Одним из наиболее информативных методов, применяемых при контроле за разработкой добывающих и нагнетательных скважин, является термометрия. На сегодняшний день термометрия действующих скважин позволяет решать ряд задач, включающих определение интервалов притока, диагностику продуктивных пластов и технического состояния скважин. Термогидродинамические исследования, базирующиеся на измерении давления, объемного расхода и температуры в стволе скважины, занимают важное место в комплексе геофизических исследований. Применительно к диагностике нефтяных пластов температурные исследования позволяют определять такие параметры пластов, как проницаемость, геометрия нарушенной зоны и др. [1].

В данной работе на основе результатов математического моделирования исследуется формирование полей давления и температуры при неизотермической фильтрации флюида в пласте с трещиной гидроразрыва. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) является широко распространенным в настоящее время методом увеличения нефтеотдачи. Для исследования формирования температурного поля в пласте с трещиной ГРП разработана математическая модель, базирующаяся на уравнениях неразрывности, законе фильтрации Дарси и законе сохранения энергии с учетом термодинамических эффектов. Закон сохранения массы при движении флюида в пористой среде записывается в форме уравнения неразрывности, закон сохранения энергии записывается с учетом конвективной и кондуктивной теплопередачи, а также эффектов Джоуля-Томсона, адиабатического расширения и теплоты фазовых переходов.

Проанализировано влияние геометрических и фильтрационно-емкостных параметров трещины на характер изменения во времени температуры жидкости, притекающей в скважину. Показано, что наличие трещины приводит к немонотонному изменению во времени температуры притекающей в скважину жидкости после создания депрессии на пласт. При небольшой длине трещины (до 5 м) ее увеличение приводит к снижению температуры жидкости, поступающей в скважину, поскольку жидкость поступает в скважину через трещину гидроразрыва, градиент давления в которой ниже, чем в пласте. При дальнейшем увеличении длины трещины градиент давления в ней возрастает, поскольку увеличивается приток жидкости из пласта в трещину и скорость фильтрации жидкости в трещине. В результате увеличение длины трещины приводит к росту вклада эффекта Джоуля-Томсона, который определяется градиентом давления, и закономерному росту температуры жидкости, притекающей в скважину.

Показано, что при малой ширине трещины (порядка 1 мм) после кратковременного снижения температуры вследствие адиабатического эффекта наблюдается дальнейший разогрев жидкости благодаря эффекту Джоуля-Томсона, в результате чего притекающая в скважину жидкость со временем нагревается. С увеличением ширины трещины до 5-10 мм после первоначального охлаждения притекающая в скважину жидкость нагревается, после чего вклад эффекта Джоуля-Томсона снижается, обуславливая охлаждение жидкости с течением времени.

Изменение проницаемости трещины приводит к немонотонному изменению температуры во времени. При малых временах с ростом проницаемости трещины температура притекающей в скважину жидкости увеличивается. При больших временах увеличение проницаемости трещины благодаря снижению гидравлических сопротивлений и градиента давления в трещине обуславливает снижение температуры притекающей жидкости вследствие снижения вклада эффекта Джоуля-Томсона, т.е. наблюдается инверсия на температурной кривой. Представленные особенности формирования температурного поля могут быть использованы при оценке параметров трещины гидроразрыва.

Работа выполнена при поддержке гранта Республики Башкортостан молодым ученым (2020 г.).

Список публикаций:

[1] Шарипов А.М., Шарафутдинов Р.Ф., Рамазанов А.Ш., Валиуллин Р.А. Исследование восстановления температуры в скважине после прекращения закачки воды в пласт с трещиной ГРП // Вестник Башкирского университета. 2017. Том 22. №1. С. 301–306.